

## 5 Cornetas Piramidais com Lentes

As características de radiação das cornetas piramidais são determinadas pelas dimensões da abertura e pelos ângulos de abertura, descritos na Figura 5.1. Como exemplo, a redução da largura de feixe do diagrama nos planos  $E$  e  $H$ , com o consequente aumento do ganho, pode ser obtido pelo aumento das dimensões da abertura ao longo deste planos, mas limitadas aos ângulos  $\psi_e$  e  $\psi_h$ , respectivamente, ilustrados nas figuras 5.2 e 5.3. Assim como no caso setorial, discutido no Capítulo 4, a frente de onda incidente sobre o plano da abertura da corneta apresenta uma variação de fase quase esférica. Esta não uniformidade na fase reduz o ganho e a eficiência da abertura, podendo, inclusive, possibilitar a ocorrência de máximos do diagrama localizados fora do eixo. Como a amplitude do modo propagante na corneta é próxima do modo  $TE_{10}$  no guia retangular que excita a estrutura piramidal, quase uniforme ao longo do plano  $E$  e com uma forma cossenoidal no plano  $H$ , as características dos lóbulos laterais são próximas as encontradas nas cornetas setoriais nos planos  $E$  e  $H$ , respectivamente.

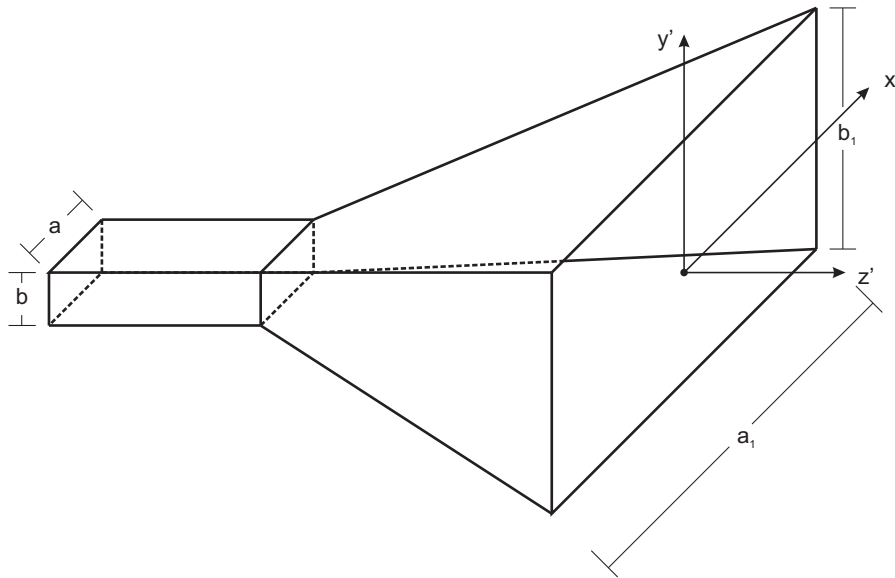


Figura 5.1: Geometria da Corneta Piramidal.

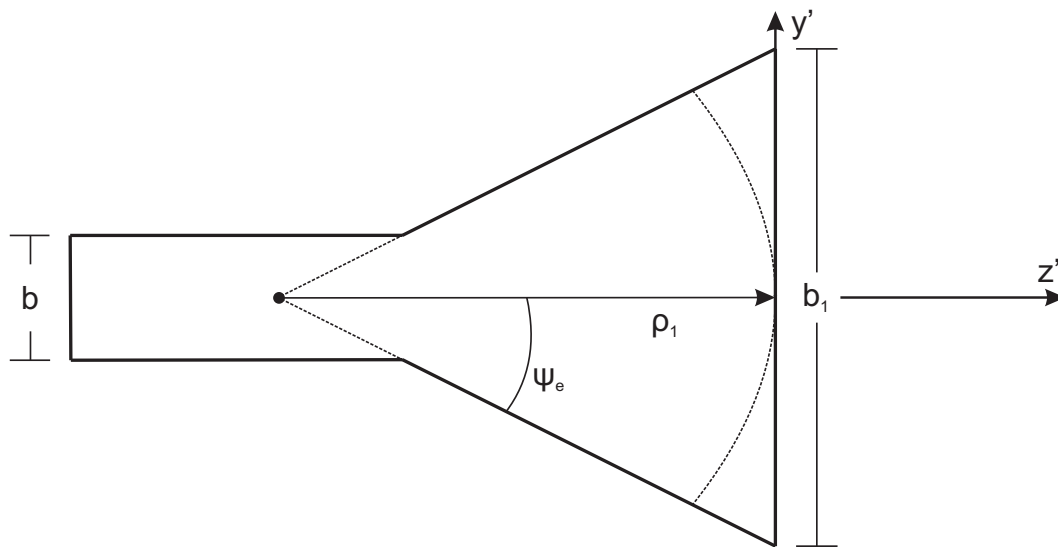


Figura 5.2: Vista no Plano E.

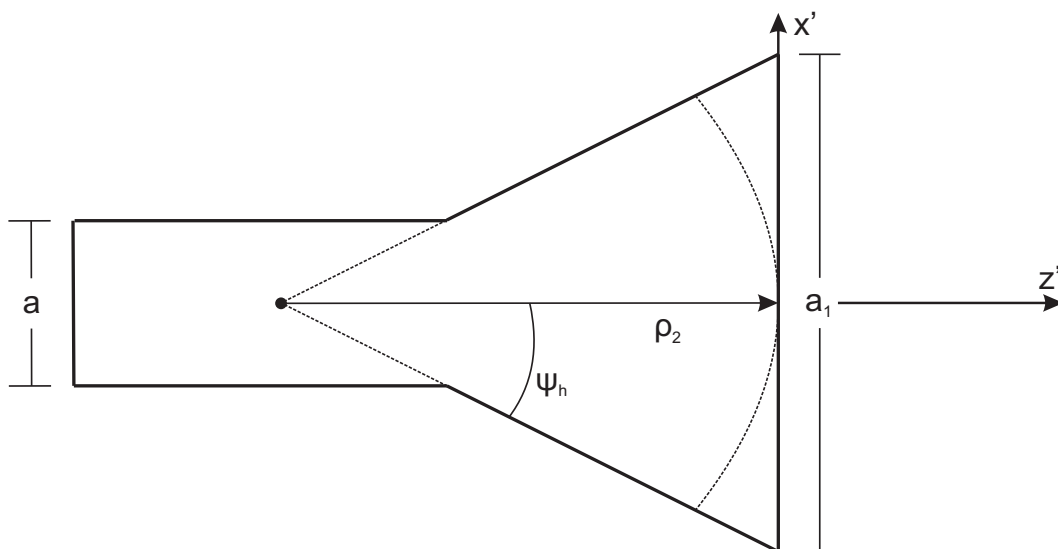


Figura 5.3: Vista no Plano H.

Semelhante ao papel desempenhado pelos refletores parabólicos, que transformam uma frente de onda esférica em uma onda plana após a reflexão, lentes metálicas podem ser colocadas na frente de cornetas para corrigir a fase da onda incidente, transformando-a em uma frente de onda plana na saída da lente. O desempenho da antena (corneta+lente metálica) é determinado pelas dimensões e forma da lente. Neste capítulo serão apresentados exemplos de projeto de cornetas piramidais com lente metálica próxima a abertura. Para a síntese da lente, a técnica utilizada nos capítulos posteriores será utilizada para projetar a lente metálica. Métodos de análise aproximados serão utilizados para estimar o desempenho dos projetos desenvolvidos. Estes resultados para o desempenho serão confrontados com resultados obtidos por técnica rigorosa de predição eletromagnética baseada no domínio do tempo (CST-*Computer Simulation Technology*).

## 5.1

### Campos na Abertura das Cornetas Piramidais

O projeto das lentes metálicas requer o conhecimento dos campos radiados pela corneta. Neste trabalho será utilizada a aproximação descrita por [1], onde a amplitude dos campos é aproximada pela distribuição do modo  $TE_{10}$  e distribuição de fase quadrática com curvatura distinta nos planos principais (astigmático), dependendo dos semi-ângulo de abertura da corneta. Seguindo as aproximações de [1], os campos na abertura são descritos pelas seguintes expressões:

$$E'_y(x', y') = E_0 \cos\left(\frac{\pi}{a_1}x'\right) e^{-jk\delta(x', y')} \quad (5-1)$$

$$H'_x(x', y') = -\frac{E_0}{\eta} \cos\left(\frac{\pi}{a_1}x'\right) e^{-jk\delta(x', y')} \quad (5-2)$$

$$\delta(x', y') = \frac{1}{2} \left( \frac{x'^2}{\rho_2} + \frac{y'^2}{\rho_1} \right) \quad (5-3)$$

onde  $\rho_1$  e  $\rho_2$  representam o raio de curvatura da frente de onda nos planos principais. As Figuras 5.2 e 5.3 ilustram a curvatura da frente de onda na abertura da corneta nos planos  $E$  e  $H$  de polarização. Para abertura com mesmas dimensões, a curvatura da frente de onda ( $1/\rho_1$  e  $1/\rho_2$ ) aumenta com o aumento dos ângulos  $\psi_e$  e  $\psi_h$  e, conseqüentemente, aumenta a variação de fase sobre os pontos da abertura, diminui o ganho, alarga o lobo principal, e traz o crescimento dos lóbulos laterais. Por outro lado, este aumento dos ângulos

$\psi_e$  e  $\psi_h$  resulta em cornetas mais compactas, ou mais curtas. Conclusões semelhantes podem ser obtidas se considerarmos cornetas com mesmos ângulos  $\psi_e$  e  $\psi_h$ , onde a utilização de abertura maiores permitiria o aumento do ganho, ou o estreitamento do lobo principal. Neste caso, entretanto, o aumento das dimensões traria, também, o aumento da variação de fase sobre a abertura, limitando a redução na largura do lobo principal à  $\psi_e$  e  $\psi_h$  nos planos respectivos. Assim, para cornetas com  $\psi_e$  e  $\psi_h$  especificados, pode-se identificar dimensões a partir das quais o aumento não resultaria em aumento do ganho, ou significativa alteração no diagrama, estas dimensões de cornetas são chamadas de ótimas. Para estas cornetas o campo radiado teria uma distribuição de fase semelhante aos campos no interior da corneta com mesmo centro de fase nos planos principais e o diagrama de radiação seria semelhante ao do modo no interior da corneta. Do ponto de vista de operação em uma determinada banda de frequência, estas cornetas oferecem a estabilidade do centro de fase e diagrama de radiação. Quanto as dimensões destes alimentadores, é importante notar que este comportamento estável para o diagrama da corneta é obtido para estrutura mais compactas na medida que os ângulos  $\psi_e$  e  $\psi_h$  aumentam, enquanto que a obtenção de ganhos elevados requer estruturas extremamente longas com ângulos  $\psi_e$  e  $\psi_h$  reduzidos.

Como mencionado anteriormente, semelhante aos mecanismos utilizados na concepção das antenas refletoras onde um pequeno alimentador é associado a refletor parabólico para produzir uma frente de onda plana, pode-se associar corneta a uma lente metálica que faria o papel de transformador da frente de onda quadrática em uma frente de onda plana na saída da lente. Comparado a uma corneta que produzisse ganho equivalente, o conjunto (corneta+lente) teria uma abertura com dimensões semelhantes mas com comprimento muito menor.

## 5.2

### Síntese de Lentes para Cornetas Piramidais

A utilização de fontes primárias com baixa polarização cruzada para iluminar a lente é fundamental no projeto destes dispositivos pois o funcionamento efetivo das placas paralelas no controle da velocidade de propagação da onda entre as placas depende da incidência de uma onda plana com polarização paralela as placas metálicas.

A corneta a ser utilizada neste exercício foi projetada para apresentar um diagrama com ganho próximo a 20 dBi na frequência de 10 GHz e centro de fase no vértice dos lados em cada um dos planos. A corneta será excitada

por guia com dimensões  $a = 0,6\lambda$  e  $b = 0,4\lambda$ , semelhante ao guia utilizado no capítulo anterior. O projeto foi realizado seguindo os passos apresentados em [1] e as dimensões da corneta são listadas na Tabela 5.1.

| Parâmetro | Propriedade          | Valor         |
|-----------|----------------------|---------------|
| $a$       | dimensão do guia     | $0,6\lambda$  |
| $b$       | dimensão do guia     | $0,4\lambda$  |
| $a_1$     | dimensão da abertura | $4,41\lambda$ |
| $b_1$     | dimensão da abertura | $3,52\lambda$ |
| $\psi_e$  | ângulo da corneta    | $16,5^\circ$  |
| $\psi_h$  | ângulo da corneta    | $19,9^\circ$  |
| $\rho_1$  | dimensão da corneta  | $5,95\lambda$ |
| $\rho_2$  | dimensão da corneta  | $6,10\lambda$ |

Tabela 5.1: Parâmetros da Corneta Piramidal.

As Figuras 5.4, 5.5, e 5.6 apresentam os diagramas de radiação da corneta piramidal nos planos  $\phi = 0^\circ$ ,  $\phi = 45^\circ$  e  $\phi = 90^\circ$ , respectivamente. Estes diagramas para as polarizações principais e cruzada foram obtidos a partir de simulação do comportamento eletromagnético da antenna no CST, estando a escala da polarização cruzada no eixo a esquerda das figuras supracitadas. A corneta apresenta uma ganho de 20,7 dBi com uma largura de feixe de aproximadamente  $28^\circ$  entre os pontos de  $-10$  dB nos planos  $E$  e  $H$ , permitindo assumir que o lóbulo principal entre estes pontos é aproximadamente circularmente simétrico, condição essencial para a obtenção de diagramas com baixa polarização cruzada. Os níveis de polarização cruzada da corneta são mais proeminentes a  $45^\circ$ , como ilustra a Figura 5.5, com um pico de  $-37$  dB posicionado próximo a  $16^\circ$ . No plano  $E$ , o diagrama apresenta um lóbulo lateral com nível de  $-10,4$  dB posicionado aproximadamente a  $22^\circ$ , enquanto no plano  $H$  o comportamento expressa um decaimento suave.

O dimensionamento da lente metálica será realizado nos planos principais a fim de reduzir a variação de fase do campo na frente da antenna (corneta+lente), transformando a onda esférica incidente em uma onda plana, permitindo a obtenção de diagrama de radiação com características diretivas e maximizando o ganho da antenna. Para a correção de fase no plano  $H$ , as distâncias  $d$  entre as placas serão ajustadas para criar no espaço da lente regiões, ou faixas, com diferentes índices de refração, enquanto que no plano  $E$ , a partir do índice de refração para a região, o perfil da lâmina será ajustado para que o caminho ótico no interior da lente resulte em um feixe de raios paralelos sobre a abertura, ou uma frente de onda plana na abertura da lente. As técnicas de síntese a serem utilizadas nos dois planos principais estão descritas no Capítulo 2 e serão exploradas no projeto de dois tipos de lentes, semelhan-

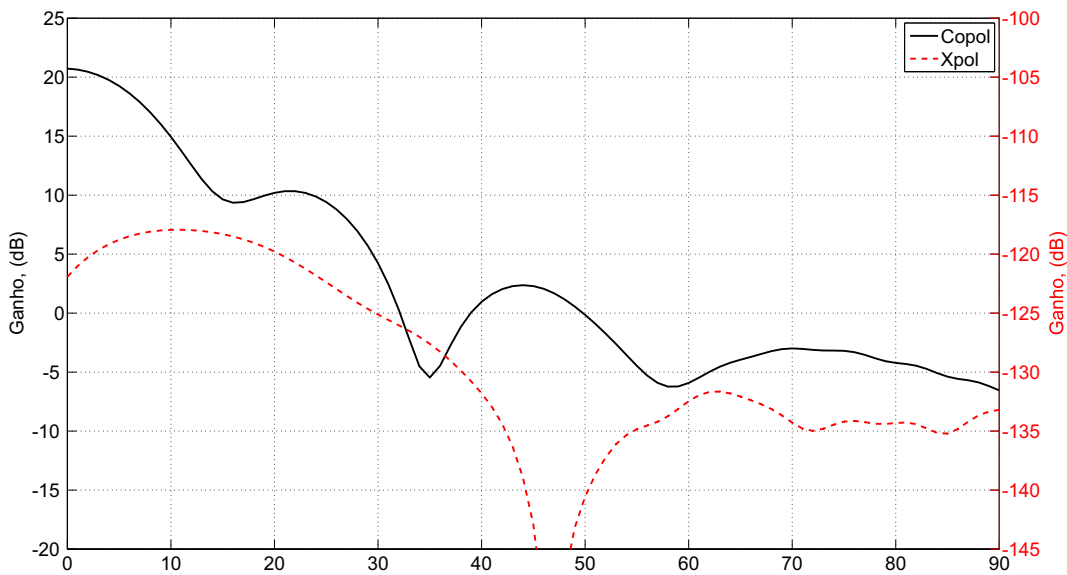


Figura 5.4: Diagrama da Corneta Piramidal no Plano E.

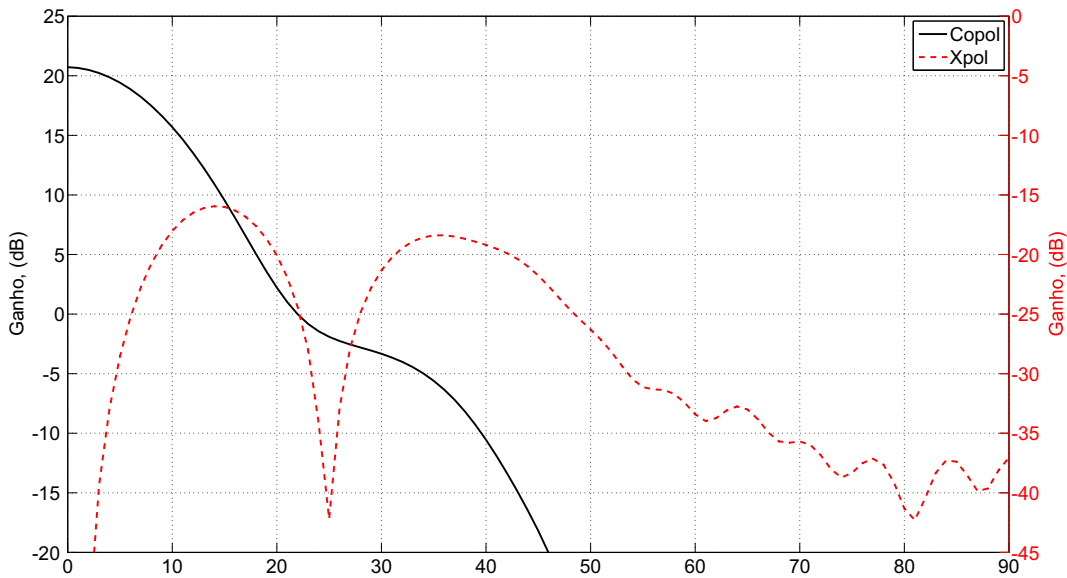


Figura 5.5: Diagrama da Corneta Piramidal a 45°.

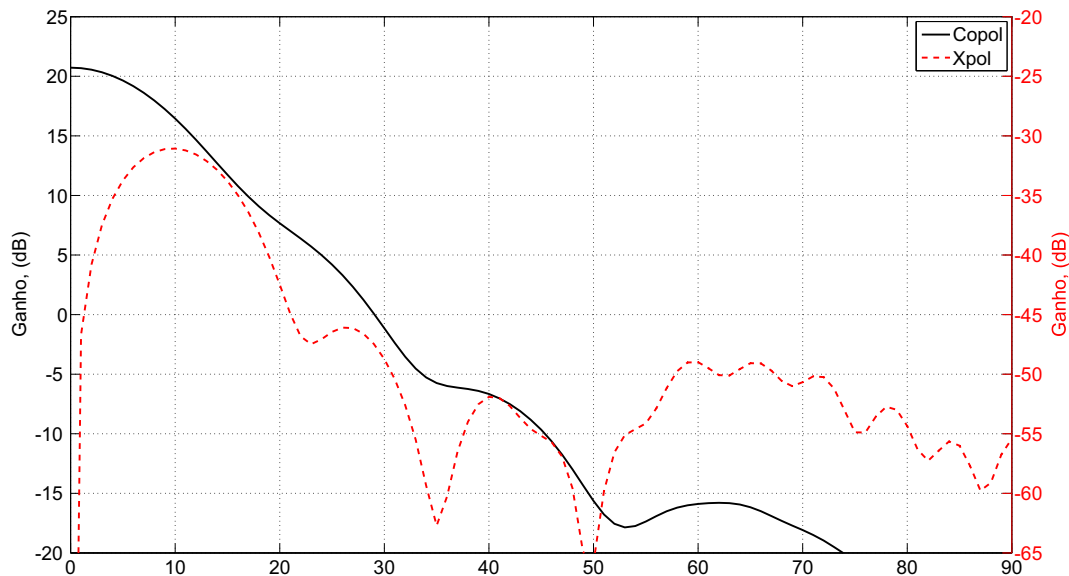


Figura 5.6: Diagrama da Corneta Piramidal no Plano H.

temente ao que foi desenvolvido no Capítulo 4. No Caso *A*, o espaçamento entre as lâminas é mantido uniforme ao longo do plano *H*, gerando uma lente com índice de refração constante, e no Caso *B* o espaçamento é não uniforme, criando uma lente com índice de refração variável. Como o lobo principal do alimentador é aproximadamente simétrico, a lente é aproximadamente quadrada e as dimensões *A* e *B* da lente são próximas a  $10\lambda_0$  e foram definidas em função do ganho esperado (27 dBi). A distância da lente ao centro de fase é  $20\lambda_0$  e foi determinada para que a lente fosse iluminada pela região do lóbulo principal do alimentador entre os pontos de  $-10$  dB, com largura de feixe de aproximadamente  $28^\circ$ . Neste dimensionamento é importante evitar que a lente seja iluminada pelo lóbulo lateral onde a rotação de fase de  $180^\circ$  em relação ao lóbulo principal resultaria na redução da eficiência da antena e na elevação dos lóbulos secundários.

A configuração de lente a ser considerada neste trabalho é projetada para produzir fase uniforme na abertura da lente não controlando a distribuição de amplitude que será uma função do diagrama do alimentador, que incide na entrada da lente. Ao utilizar uma largura feixe de  $28^\circ$  para iluminar a antena e incluir regiões com baixas intensidades do lóbulo principal ( $-10$  dB), a distribuição de campo na abertura apresentará um comportamento semelhante com atenuação na borda da ordem de  $-10$  dB, reduzindo a eficiência de iluminação da abertura. Uma iluminação mais uniforme da abertura com mesma dimensões pode ser obtida pelo afastamento da lente da corneta que resulta na redução na largura do feixe de iluminação do dispositivo. Por outro

lado, a iluminação mais intensa da borda da lente resultaria no aumento da energia transbordada diretamente em campo distante, junto ao lóbulo principal.

### 5.3

#### Projeto de Lentes para Cornetas Piramidais

Para o Caso *A* a lente terá uma interface de saída plana, e, distância  $d$  entre placas uniforme ao longo do plano  $H$ . Foi utilizado um espaçamento  $d = 0,625\lambda$ , propiciando um índice de refração  $n = 0,6$ . A escolha do índice de refração é um compromisso entre baixas perdas por reflexão e espessura da lente reduzida. Caso utilizemos um índice de refração pequeno (espaçamento próximo a  $\lambda/2$ ), teremos maiores perdas por reflexão na entrada da lente. Por outro lado, para um índice de refração elevado (espaçamento próximo a  $\lambda$ ), a curvatura da placa metálica da lente pode se tornar exagerada.

A correção de fase no plano  $E$  é efetuada pelo perfil aplicado as placas metálicas, sendo a obtenção de tal perfil feita a partir da Equação 2-17. Esta equação fornece um perfil único em virtude do índice de refração uniforme utilizado, e, a rotação deste perfil pelo eixo de simetria fornece a superfície de entrada da lente metálica.

Para o Caso *B*, a lente terá uma interface de saída plana, e, ao longo do plano  $H$ , a distância  $d$  entre as placas é variável. O afastamento  $d$  entre as placas metálicas que compõem a lente foi ajustado para que ao longo do comprimento da lente o comprimento ótico compense a diferença de fase da onda esférica incidente naquele plano, semelhante ao que foi apresentado no caso da lente com índice de refração variável descrito no Capítulo 4 para a incidência de uma onda cilíndrica. O projeto da lente utiliza um número ímpar de placas que resulta em um número par de guias e, devido a simetria do problema em relação ao plano  $yz$ , o conjunto de placas será simétrico em relação a este plano. A Tabela 5.2 apresenta o conjunto de espaçamentos  $d$ , do centro para a borda, normalizados em relação ao comprimento de onda  $\lambda_0$  do espaço livre e os índices de refração associados a cada uma das regiões entre duas placas adjacentes. Quando comparados ao caso não uniforme do Capítulo 4, o conjunto de espaçamentos listados na Tabela 5.2 apresenta uma variação mais suave em virtude da lente estar situada a  $20\lambda_0$  do centro de fase da onda incidente, enquanto que nos casos do Capítulo 4 a lente está situada a  $10\lambda_0$ . Este maior afastamento do centro de fase gera uma variação de fase menos intensa sobre a entrada da lente ao longo do plano  $H$ .

A partir do índice de refração em cada região entre duas placas

|   |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| d | 0,990 | 0,925 | 0,838 | 0,759 | 0,696 | 0,645 |
| n | 0,863 | 0,841 | 0,803 | 0,752 | 0,695 | 0,632 |

Tabela 5.2: Espaçamento  $d$  e Índice de Refração  $n$  para Lente.

determina-se o perfil do lado interno da lente onde a onda radiada pela corneta irá incidir. Este perfil é determinado utilizando a Equação 2.17, reescrita na Equação 5-4, que representa uma elipse onde o centro de fase da corneta está sobre o foco mais próximo da lente,  $n$  é a excentricidade e  $f$  é a distância entre o centro de fase e a lente sobre o eixo de simetria ( $20\lambda_0$ ) e o ângulo  $\theta$  é determinado em relação ao eixo  $z$ .

$$r = \frac{(1+n)f}{1+n\cos\theta} \quad (5-4)$$

A Figura 5.7 ilustra um conjunto de placas que compõem a superfície côncava da lente metálica, vista pelo lado de incidência da onda emanada do alimentador, neste caso, uma corneta piramidal. À medida que as placas se afastam do centro, o índice de refração associado a duas placas paralelas diminui, e, consequentemente, a concavidade da superfície da lente aumenta. A placa central é ajustada pelo índice de refração do guia que a mesma forma com a placa adjacente.

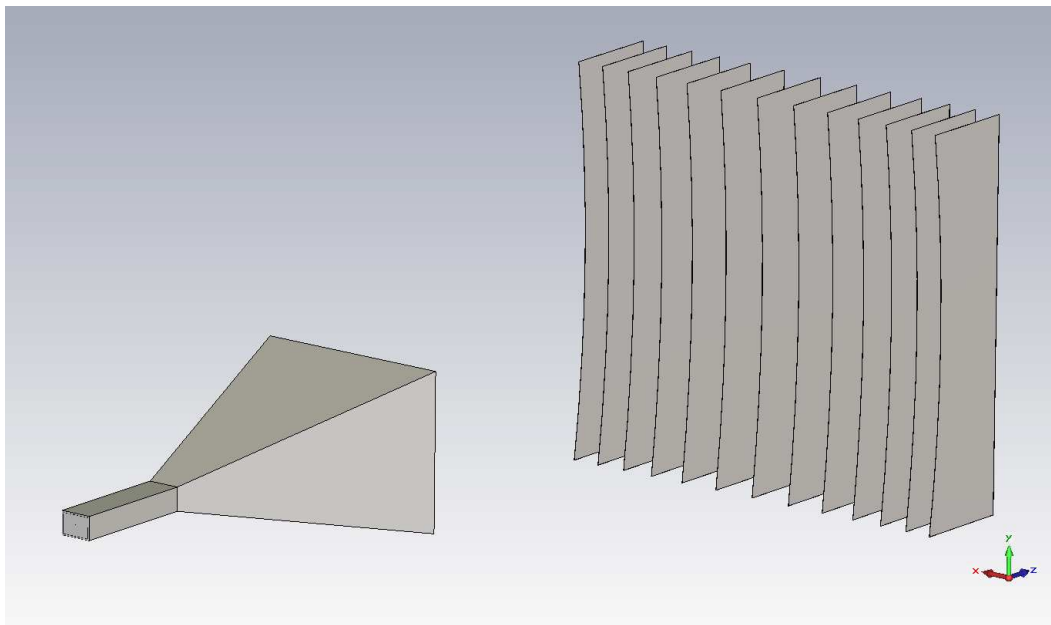


Figura 5.7: Corneta Piramidal com Lente.

## 5.4

### Aproximação para o Campo Radiado pela Lente Metálica

De forma semelhante a apresentada no Capítulo 4, o espaçamento utilizado entre placas permite supor que na saída das placas metálicas exista uma distribuição de campo do modo fundamental  $TE_{10}$ . Para estimar o comportamento de campo distante da lente metálica, pode-se supor que o campo radiado pelo alimentador, incidente na superfície côncava da lente, é canalizado ao longo das placas emergindo na frente da lente, conforme ilustrado na Figura 5.8. Desta forma, um tubo de raios incidente na lente será conduzido à sua abertura, sendo sua energia preservada conforme o princípio da conservação de energia. Entretanto, ao incidir nas placas metálicas e emergir na frente da lente, parte dessa energia será refletida, e a onda transmitida ainda sofrerá alterações em sua fase, como descrito no Capítulo 3. Uma vez que o perfil das placas é projetado para que o raio incidente propague paralelo ao eixo da lente, pode-se supor que o campo radiado seja composto pela contribuição de um conjunto de aberturas iluminadas pelo modo  $TE_{10}$ , desconsiderando-se nesta aproximação o acoplamento entre os diversos elementos da lente.

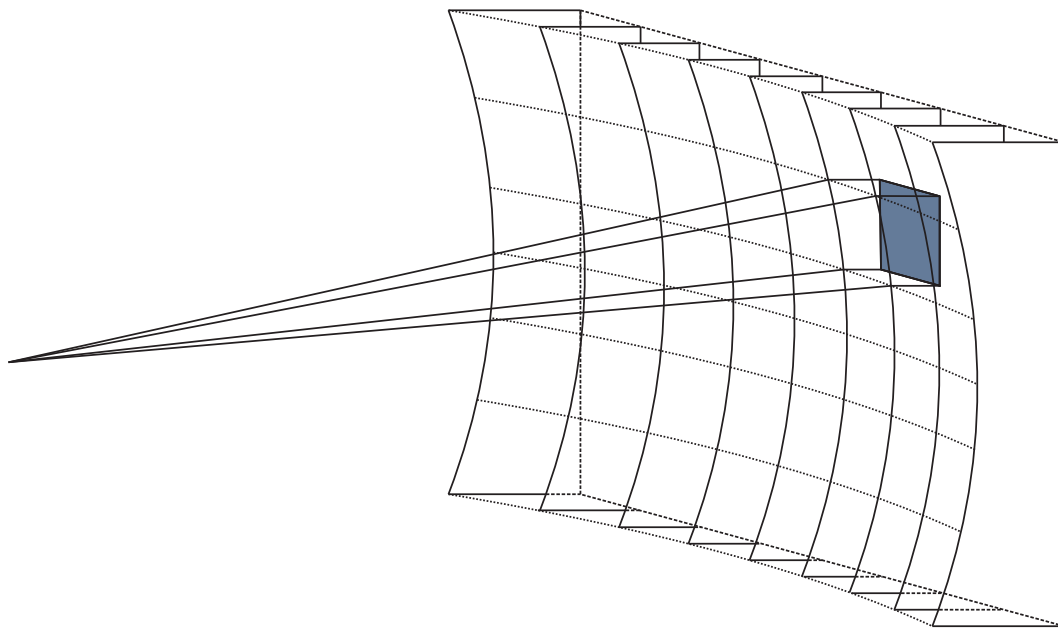


Figura 5.8: Conservação de Energia no Tubo de Raios.

A partir da Figura 5.9, que ilustra a abertura da lente, um modelo aproximado para as componentes de campo distante radiada, supondo um conjunto de aberturas retangulares iluminadas pelo modo  $TE_{10}$ , são expressas por:

$$E_{\theta}(\theta, \phi) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{\pi}{2} C_{ij} \sin \phi \frac{\cos X_{ij}}{X_{ij}^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y_{ij}}{Y_{ij}} e^{-j\alpha_{ij}} e^{-j\beta \hat{r} \cdot \hat{r}'} \quad (5-5)$$

$$E_{\phi}(\theta, \phi) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J -\frac{\pi}{2} C_{ij} \cos \theta \cos \phi \frac{\cos X_{ij}}{X_{ij}^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \frac{\sin Y_{ij}}{Y_{ij}} e^{-j\alpha_{ij}} e^{-j\beta \hat{r} \cdot \hat{r}'} \quad (5-6)$$

Sendo que

$$X_{ij} = \frac{ka_{ij}}{2} \sin \theta \cos \phi \quad (5-7)$$

$$Y_{ij} = \frac{kb_{ij}}{2} \sin \theta \sin \phi \quad (5-8)$$

$$C_{ij} = j \frac{a_{ij} b_{ij} k E_{ij} e^{-jkr}}{2\pi r} \quad (5-9)$$

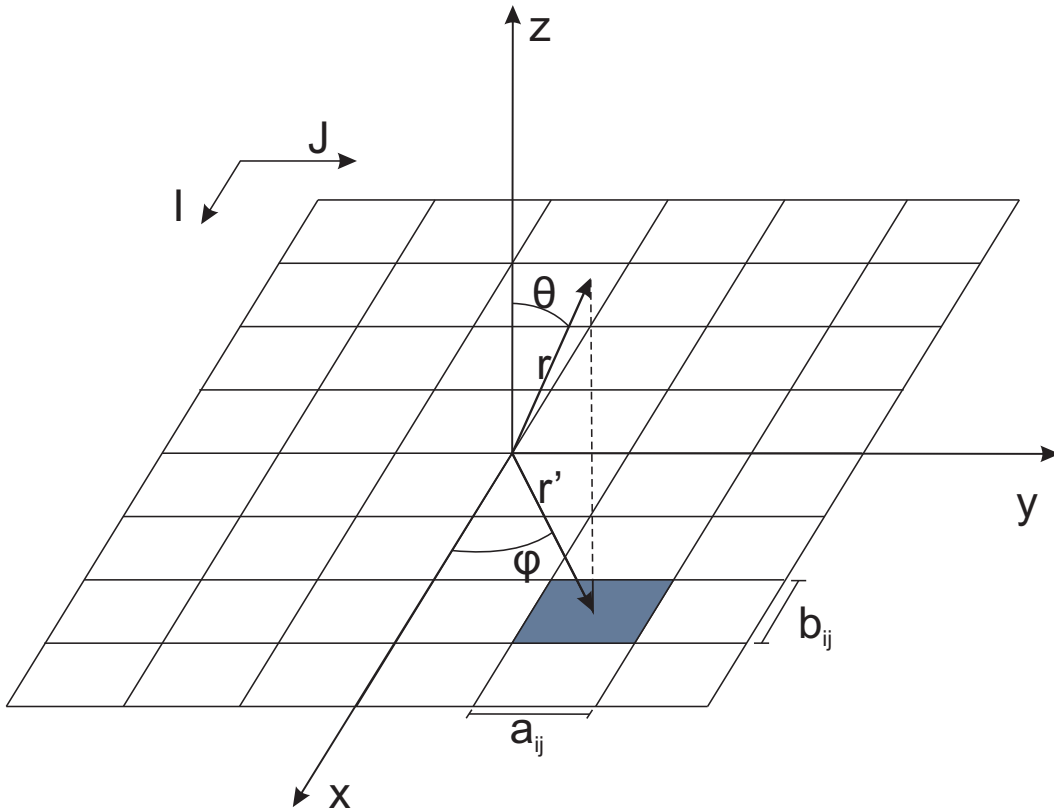


Figura 5.9: Geometria para Campo Distante.

Os termos exponenciais nas equações 5-5 e 5-6 contabilizam a fase inicial na abertura e a fase na região de campo distante, respectivamente. A fase inicial é obtida em função do percurso percorrido pelo raio do centro de fase

do alimentador, suposto no vértice da corneta, passando pelas placas, que impõem pequenos deslocamentos de fase na entrada e saída da lente metálica.

## 5.5

### Análise de Lentes para Cornetas Piramidais

Para um estudo comparativo o projeto da corneta piramidal com lente corretora de fase foi avaliada pelo software comercial e os resultados assim obtidos serão utilizados como referência. Desta forma, o desempenho das aproximações introduzidas no modelo de predição dos diagramas de radiação do conjunto corneta piramidal com lente poderão ser avaliadas. É importante observar que, neste caso, a distribuição de amplitude na abertura da lente será função do diagrama de radiação do alimentador, do perfil aplicado as placas, e da reflexão na superfície de entrada e saída da lente.

#### 5.5.1

##### Análise de Cornetas Piramidais com Lente Uniforme

Para referência neste estudo, o conjunto lente metálica e corneta piramidal foram implementados no CST e seu comportamento eletromagnético obtido. Os diagramas de radiação nos planos principais são apresentados nas figuras 5.10 e 5.11, onde são confrontados os resultados obtidos via CST e através do modelo de conjunto de aberturas. Neste caso a variação de amplitude do campo elétrico que ilumina a lente metálica deve ser caracterizada pelo decaimento dado pelo diagrama de radiação do alimentador.

Os diagramas no plano  $H$  apresentam comportamento semelhante do lóbulo principal até  $8^\circ$ , com aproximadamente  $-20$  dB de profundidade do primeiro nulo. O nível dos lóbulos laterais ficaram em  $-16$  dB, aproximando-se dos valores esperados para uma abertura de mesma dimensão iluminada uniformemente. Neste plano, vista do centro de fase do alimentador, a borda da lente faz um ângulo de aproximadamente  $13^\circ$  com o eixo  $z$ , com um nível de iluminamento de aproximadamente  $-11$  dB em relação ao máximo do alimentador. Para o plano  $E$  o resultado para o lóbulo principal apresentou divergência, com o primeiro nulo a  $8^\circ$ . O nível dos lóbulos laterais ficaram em aproximadamente  $-13$  dB. O diagrama do alimentador ilumina a borda da lente neste plano em aproximadamente  $12^\circ$ . O modelo aproximado para o campo distante proposto não considera o transbordamento (*spillover*), que é a parcela de energia do alimentador que não incide na superfície da lente, não sendo portanto aproveitada.

As limitações do modelo de determinação do campo na abertura foram

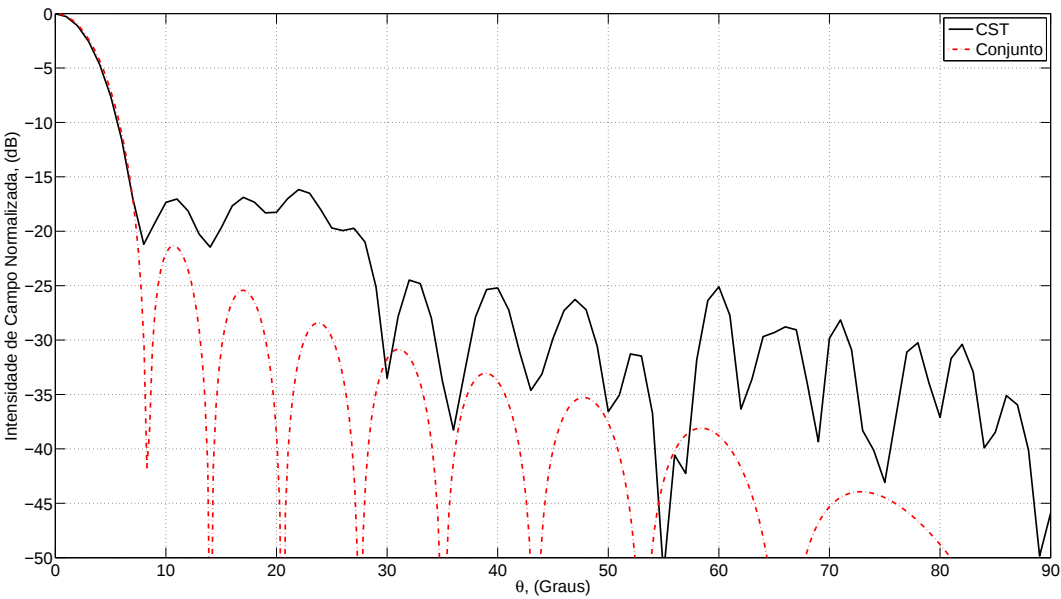


Figura 5.10: Diagrama de Radiação no Plano H - Caso A.

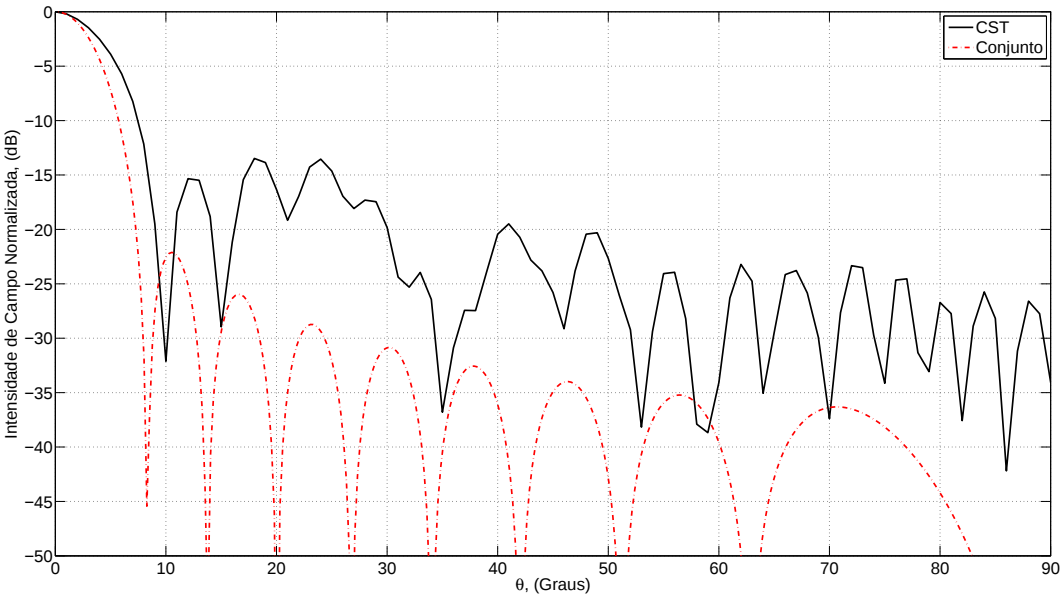


Figura 5.11: Diagrama de Radiação no Plano E - Caso A.

testadas utilizando-se os resultados da análise fornecida pelo CST para as amplitudes e fases do campo na abertura de cada guia que forma a lente. Foram distribuídas pontas de prova (probes) ao longo de cada abertura com espaçamentos de  $\lambda/2$  e os valores obtidos para amplitude e fase são apresentados nas figuras 5.12-5.15. O modelamento da amplitude da componente de campo elétrico na abertura apresentou concordância com o resultado de simulação, sendo esta comparação ilustrada nas figuras 5.12 e 5.13, nos eixos  $x$  e  $y$ , respectivamente. O modelamento da fase do campo elétrico na abertura é ilustrada nas figuras 5.14 e 5.15, nos eixos  $x$  e  $y$ , respectivamente. Para a fase, observou-se uma concordância razoável na dimensão  $x$ , com uma variação máxima de  $20^\circ$  na extremidade da lente. Na dimensão  $y$  observou-se uma divergência acentuada, chegando a  $70^\circ$  na extremidade. Os valores de amplitude e fase obtidos com o software permitiram a obtenção do campo distante pelo método de conjunto de antenas. Os resultados obtidos com este modelamento estão ilustrados nas figuras 5.16 e 5.17.

Implementando-se o modelo de conjunto de antenas, a partir das amplitudes e fases obtidos pelos probes na saída da lente, temos uma melhor aproximação para o lóbulo principal no plano  $E$ , e a mesma concordância obtida anteriormente para o plano  $H$ , mostrando os limites para o modelo de aberturas. A diferença principal observada foi a não uniformidade de fase apresentada na abertura da lente ao longo do eixo  $y$ , que determina o plano  $E$ . Pela metodologia apresentada, esta variação é pequena, enquanto os probes fornecem uma variação da ordem de  $60^\circ$ . Como consequência, temos um alargamento do lóbulo principal não prevista no modelo.

O estreitamento do feixe em ambos os planos melhora o desempenho do conjunto lente com alimentador quando comparado ao caso da corneta isoladamente. Os diagramas de radiação nos planos principais do alimentador e do conjunto corneta piramidal com lente metálica obtidos pelo software são apresentados nas figuras 5.18 e 5.19. O ganho obtido com a inserção da lente metálica foi de 5,3 dB sobre os 20,7 dBi do alimentador. No plano  $H$ , para a região acima de  $20^\circ$ , caracterizada pelo transbordamento, o nível dos lóbulos presentes estão acima do nível do alimentador, entretanto seus valores não excedem os de uma abertura uniformemente iluminada de mesma dimensão. O lóbulo principal apresentou um ângulo de meia potência de  $6,4^\circ$  neste plano. Para o plano  $E$ , na região de transbordamento, o diagrama do conjunto acompanha o do alimentador, com oscilações da ordem de 10 dB, com boa concordância com os valores teóricos de uma abertura de mesma dimensão. O lóbulo principal apresentou um ângulo de meia potência de  $8,7^\circ$  neste plano.

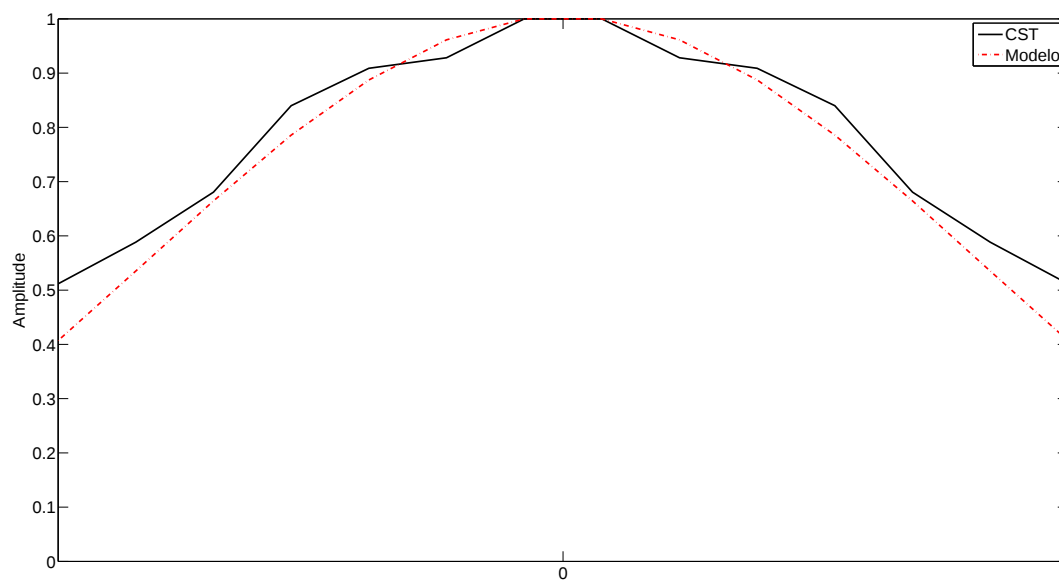


Figura 5.12: Campo na Abertura - Caso A (eixo x).

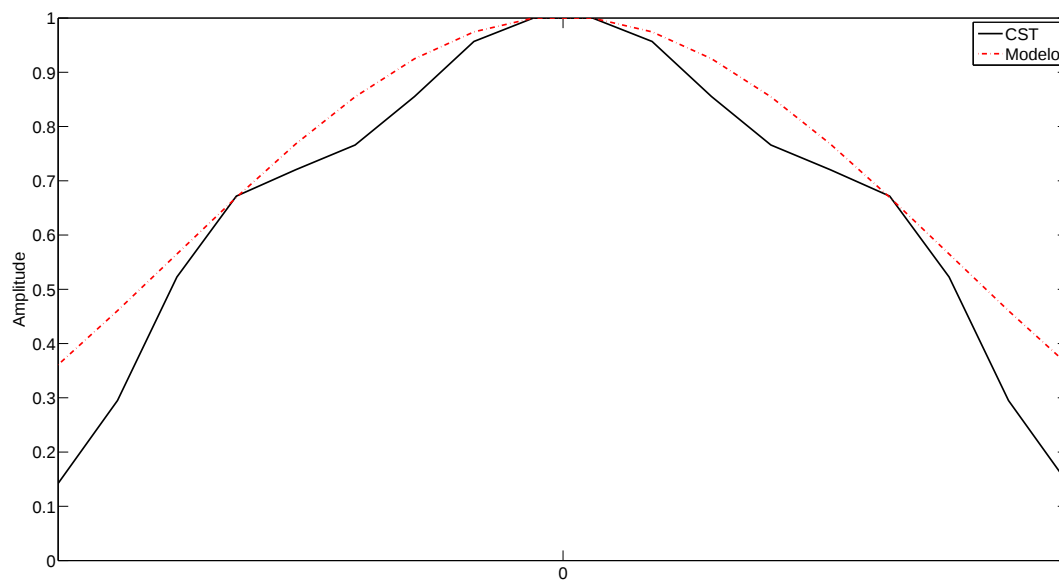


Figura 5.13: Campo na Abertura - Caso A (eixo y).

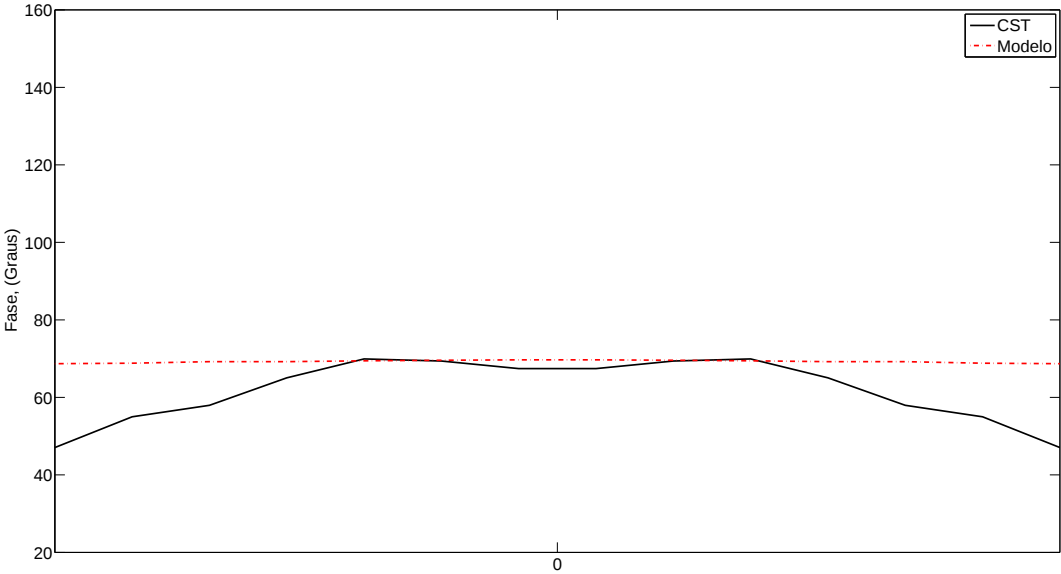


Figura 5.14: Fase na Abertura - Caso A (eixo x).

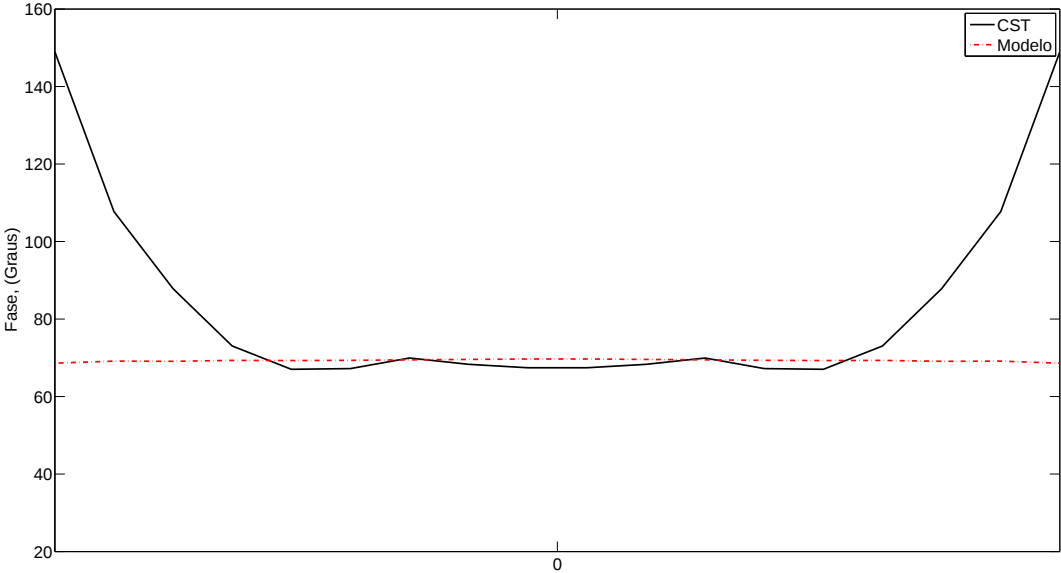


Figura 5.15: Fase na Abertura - Caso A (eixo y).

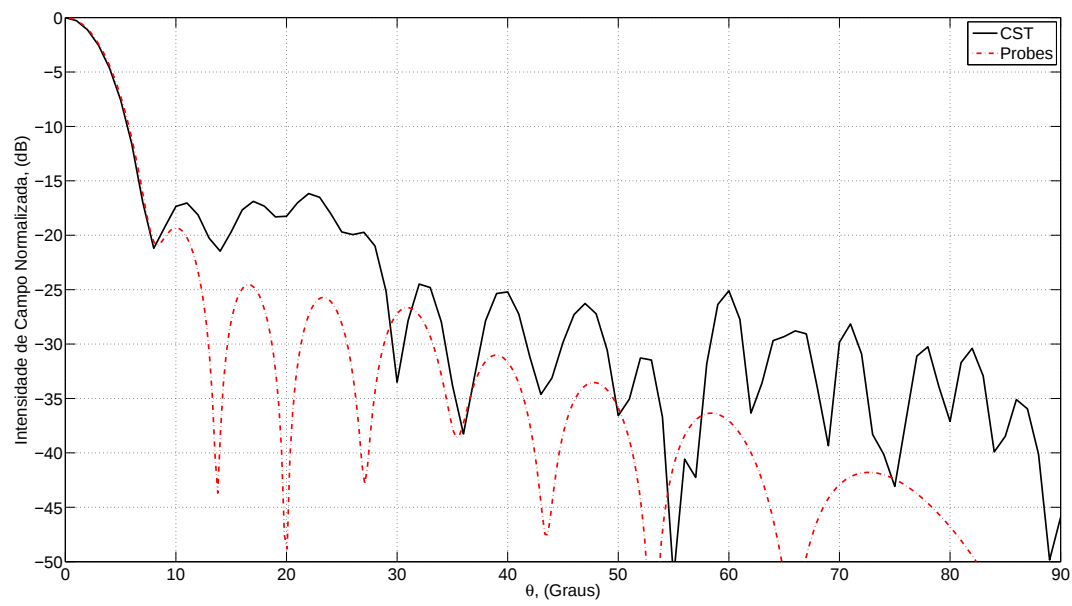


Figura 5.16: Diagrama de Probes no Plano H - Caso A.

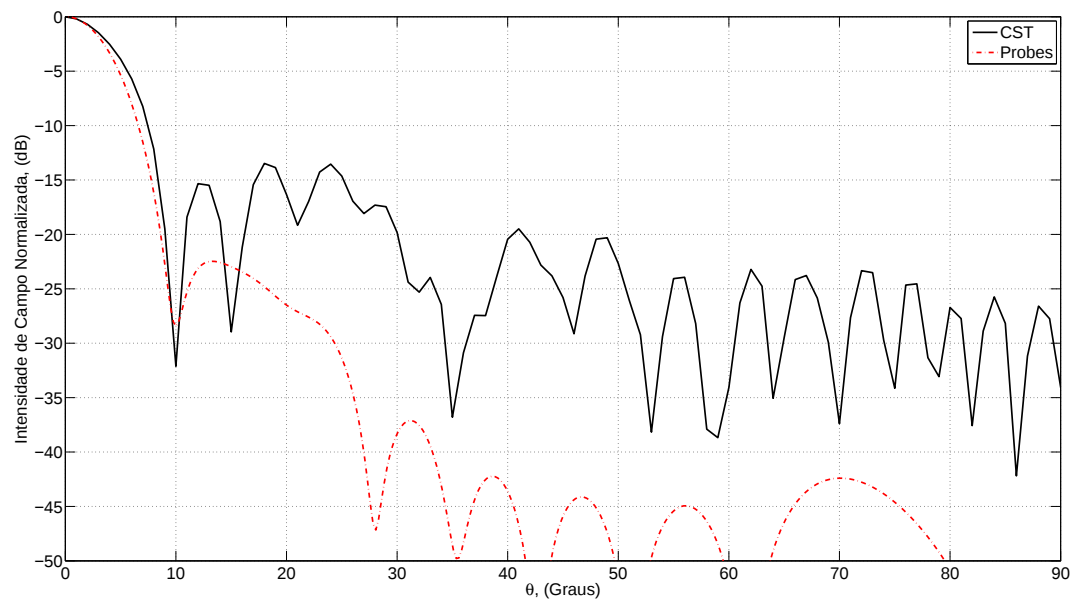


Figura 5.17: Diagrama de Probes no Plano E - Caso A.

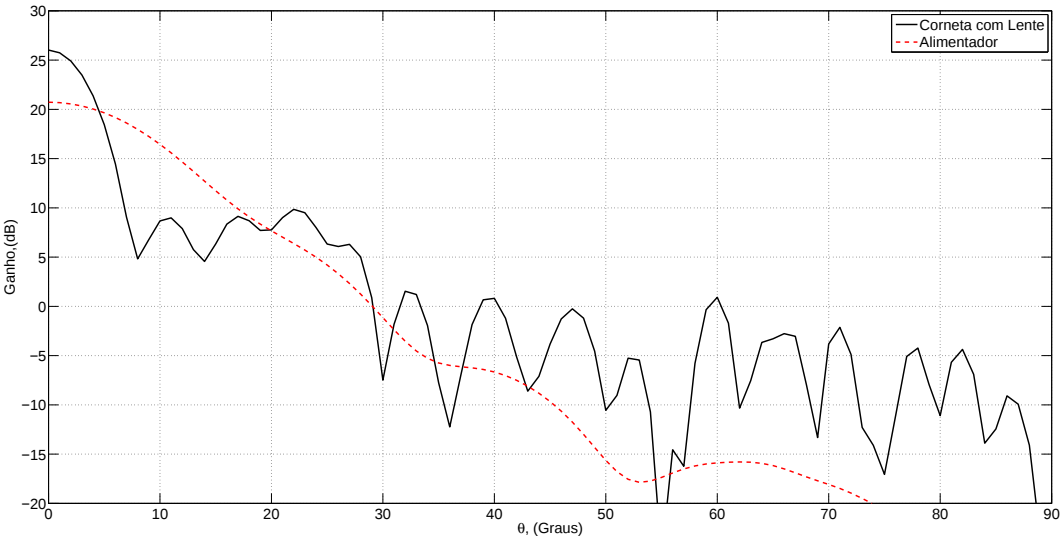


Figura 5.18: Diagrama de Radiação Corneta com Lente Uniforme - Plano H.

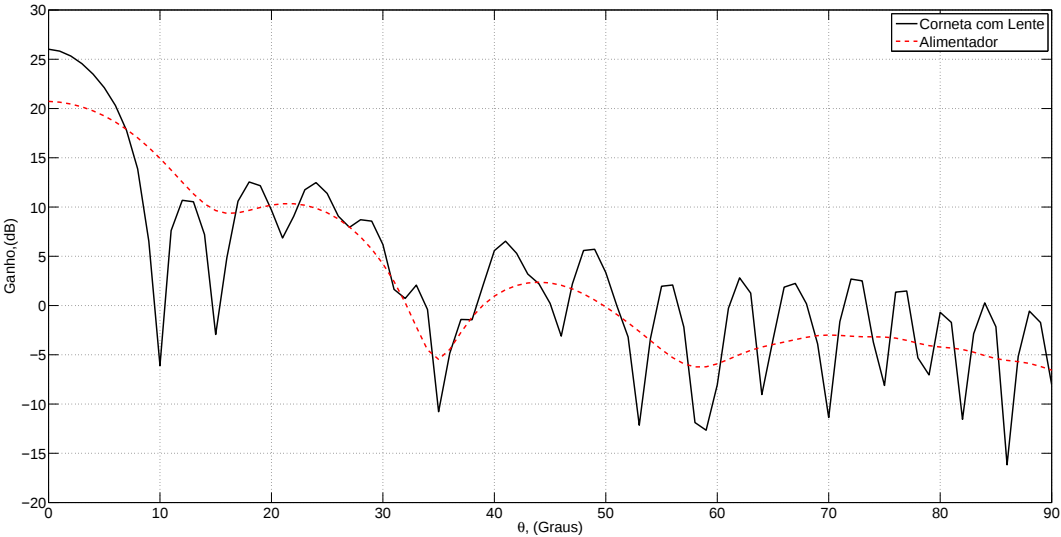


Figura 5.19: Diagrama de Radiação Corneta com Lente Uniforme - Plano E.

A reflexão ocorrida nas discontinuidades das superfícies da lente influencia na perda de retorno da antena, sendo verificada na porta de entrada do guia alimentador. Embora as placas metálicas que formam a lente garantam baixas reflexões, a parcela de energia que retorna, refletida na interface plana da lente, será direcionada para o alimentador em virtudes da característica construtiva da lente, ou seja, de sua característica focalizadora. O alimentador isoladamente apresentou uma perda de retorno de  $-30$  dB ao longo de uma banda percentual de 10%. Para o caso em que a lente foi inserida, a perda de retorno ficou abaixo de  $-11$  dB ao longo da banda analisada, e,  $-14$  dB na frequência de operação. A Figura 5.20 apresenta o comportamento da perda de retorno para a banda analisada obtida pelo software comercial.

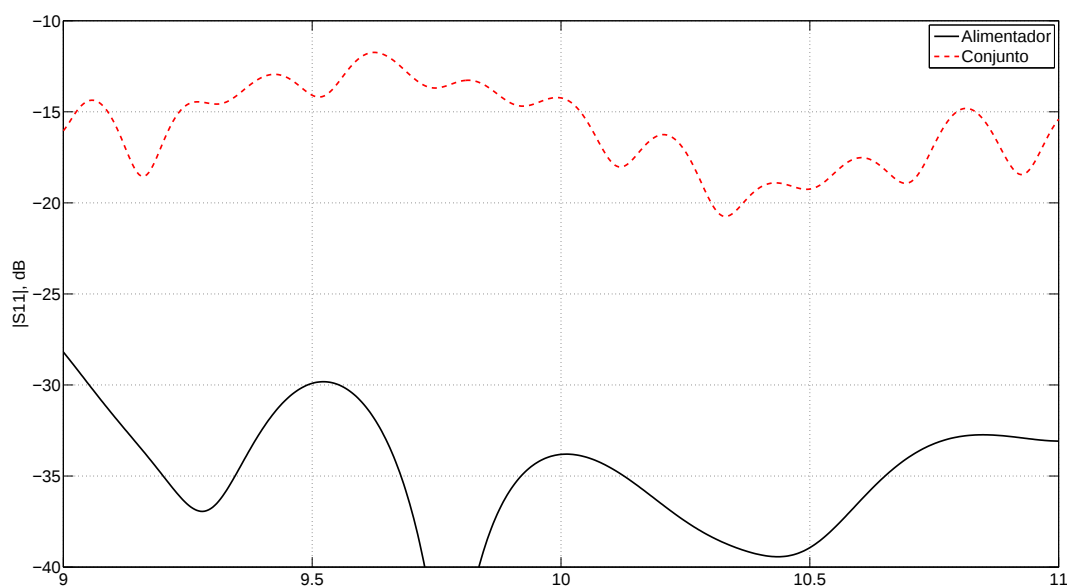


Figura 5.20: Perda de Retorno - Corneta com Lente Uniforme.

### 5.5.2

#### Análise de Cornetas Piramidais com Lente Não Uniforme

Para referência neste estudo, o conjunto lente metálica e corneta piramidal foram implementados no CST e seu comportamento eletromagnético obtido. Os diagramas de radiação nos planos principais são apresentados nas figuras 5.21 e 5.22, onde são comparados os resultados obtidos via CST e através do modelo de conjunto de aberturas. Reiterando a proposição anterior, a variação de amplitude do campo elétrico que ilumina a lente metálica utilizada é caracterizada pelo decaimento dado pelo diagrama de radiação do alimentador.

Os diagramas no plano  $H$  apresentam comportamento semelhante do lóbulo principal até  $8^\circ$ , com aproximadamente  $-20$  dB. O nível dos lóbulos laterais ficaram em  $-17$  dB aproximando-se dos valores esperados para uma abertura de mesma dimensão iluminada uniformemente. Neste plano, vista do centro de fase do alimentador, a borda da lente faz um ângulo de aproximadamente  $13^\circ$  com seu eixo de simetria. Para o plano  $E$  o lóbulo principal tem divergência a partir de  $6^\circ$ , entretanto, temos  $-10$  dB de nível, e o primeiro nulo apresentasse a  $8^\circ$ . O nível dos lóbulos laterais ficaram em aproximadamente  $-11$  dB. O diagrama do alimentador ilumina a borda da lente em  $12^\circ$ . Ambas as análises apresentadas acima, para o modelo de conjunto de aberturas iluminadas pelo modo fundamental, não levam em consideração o transbordamento.

Como efetuado no caso anterior, a amplitude e fase da componente de campo elétrico na saída da lente metálica foi verificada com o auxílio das pontas de prova do software, permitindo a determinação do campo distante pelo modelo de conjunto de aberturas e avaliação do modelo de determinação do campo na abertura. Estes valores foram determinados ao longo da região central de placas adjacentes a cada  $\lambda/2$ . O modelamento da amplitude da componente de campo elétrico na abertura apresentou concordância com o resultado de simulação, sendo esta comparação ilustrada nas figuras 5.25 e 5.26, nos eixos  $x$  e  $y$ , respectivamente. O modelamento da fase do campo elétrico na abertura é ilustrada nas figuras 5.27 e 5.28, nos eixos  $x$  e  $y$ , respectivamente. Para a fase, observou-se uma boa concordância na dimensão  $x$ , com uma leve variação na extremidade da lente. Na dimensão  $y$  observou-se uma divergência acentuada, chegando a  $90^\circ$  na extremidade. Os diagramas de campo distante implementados a partir das amplitudes e fases obtidas com os probes são apresentados nas figuras 5.23 e 5.24.

Para ampliar esta análise são apresentados nas figuras 5.29 e 5.30 os diagramas de radiação nos planos principais do alimentador e do conjunto corneta piramidal com lente metálica obtidos pelo software. Para os diagramas no plano  $E$ , temos um ganho de aproximadamente 6 dB sobre o ganho do alimentador, de 20, 7 dB. Para a região compreendida entre  $12^\circ$  e  $27^\circ$ , região inicial do transbordamento, o nível dos lóbulos presentes estão aproximadamente 5 dB acima do diagrama do alimentador, entretanto, estes valores são aceitáveis pois, uma abertura de mesma dimensão produziria um ganho teórico de  $-13,26$  dB. Para os ângulos acima de  $27^\circ$  a predominância do transbordamento é nitidamente observável, uma vez que o diagrama da corneta piramidal com lente acompanha o diagrama do alimentador, mantendo os resultados coerentes. O lóbulo principal apresentou um ângulo de meia potência de  $6,3^\circ$  neste plano. Para

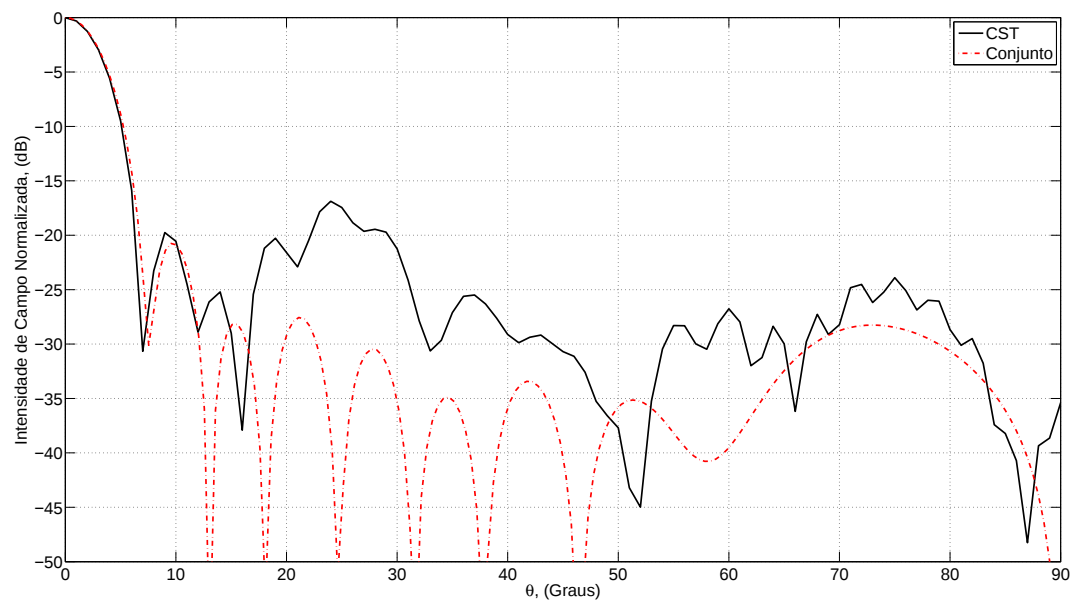


Figura 5.21: Diagrama de Radiação no Plano H - Caso B.

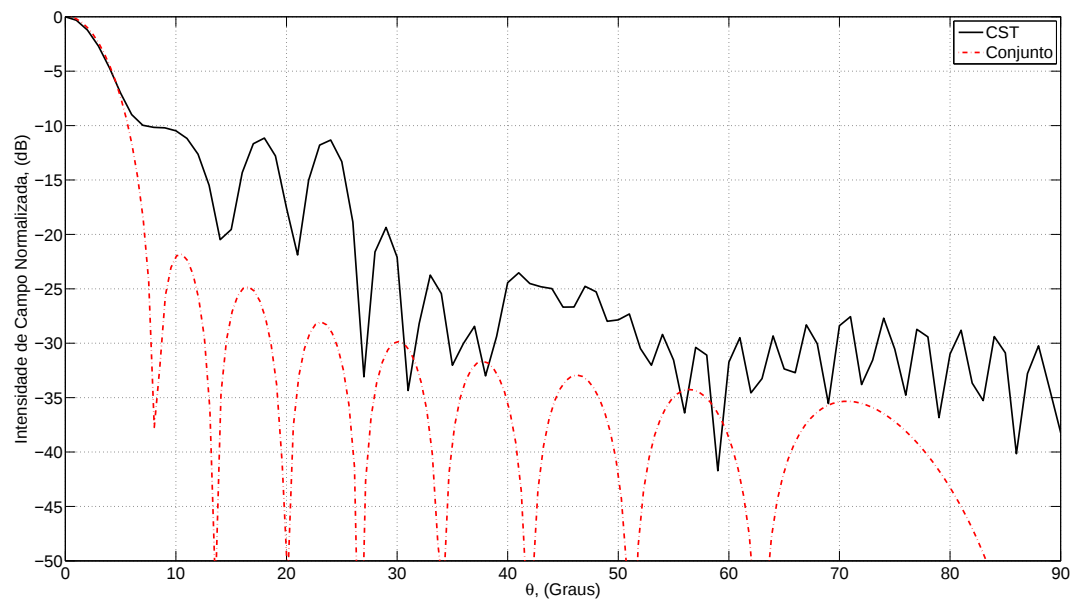


Figura 5.22: Diagrama de Radiação no Plano E - Caso B.

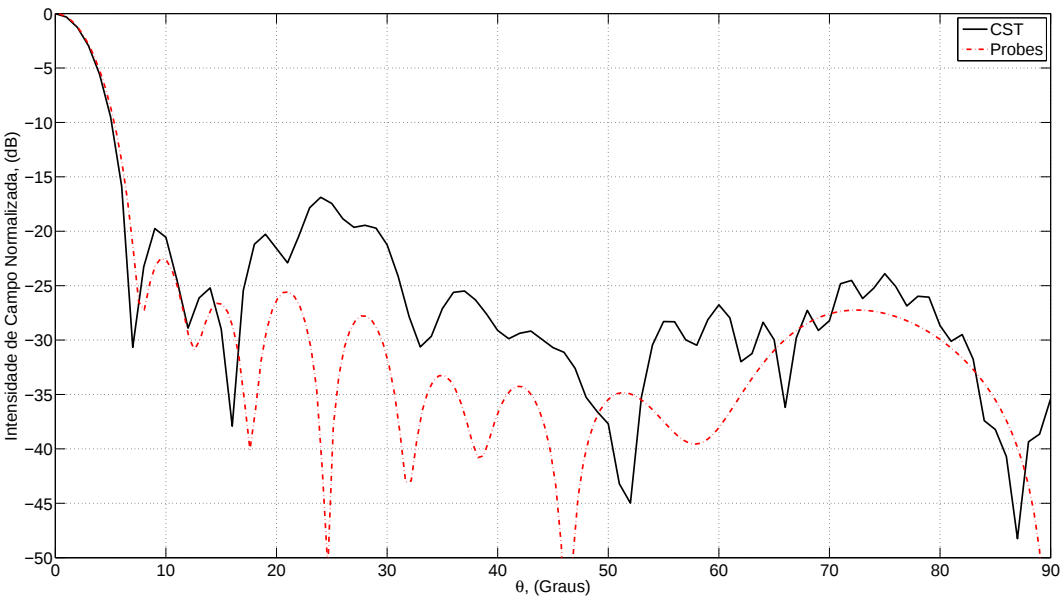


Figura 5.23: Diagrama de Probes no Plano H - Caso B.

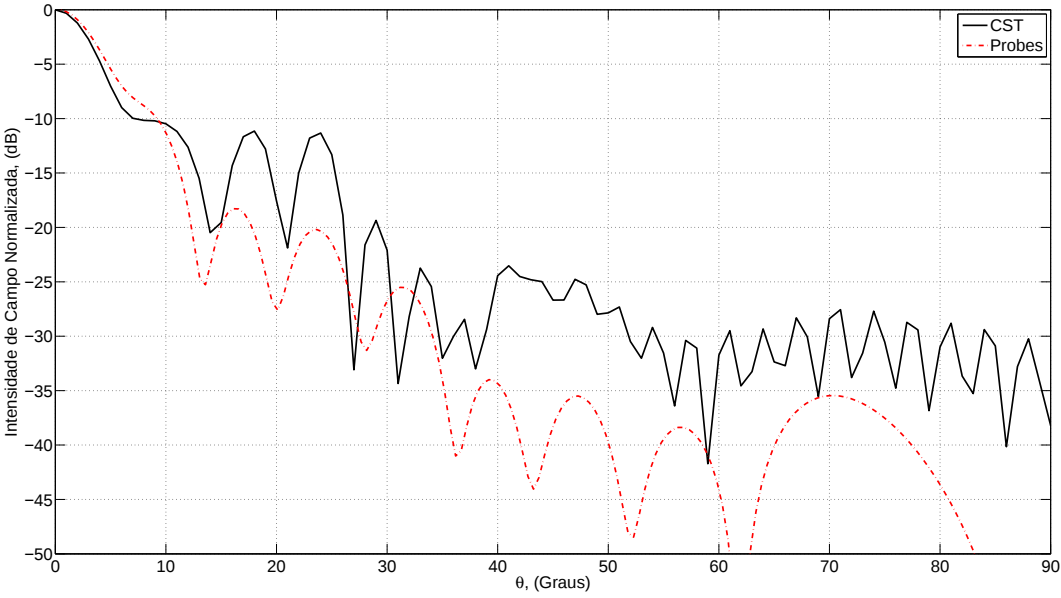


Figura 5.24: Diagrama de Probes no Plano E - Caso B.

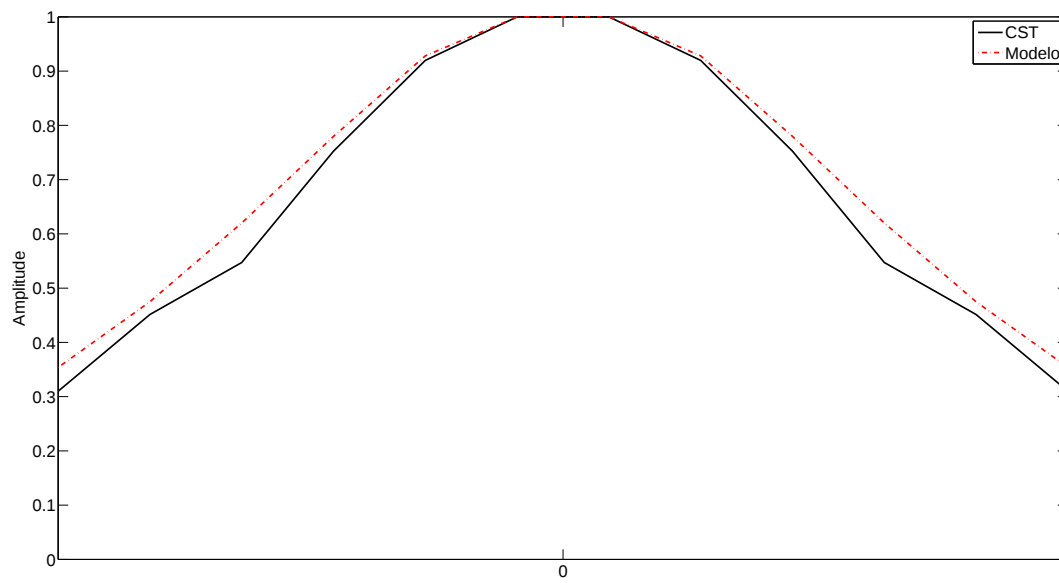


Figura 5.25: Campo na Abertura - Caso B (eixo x).

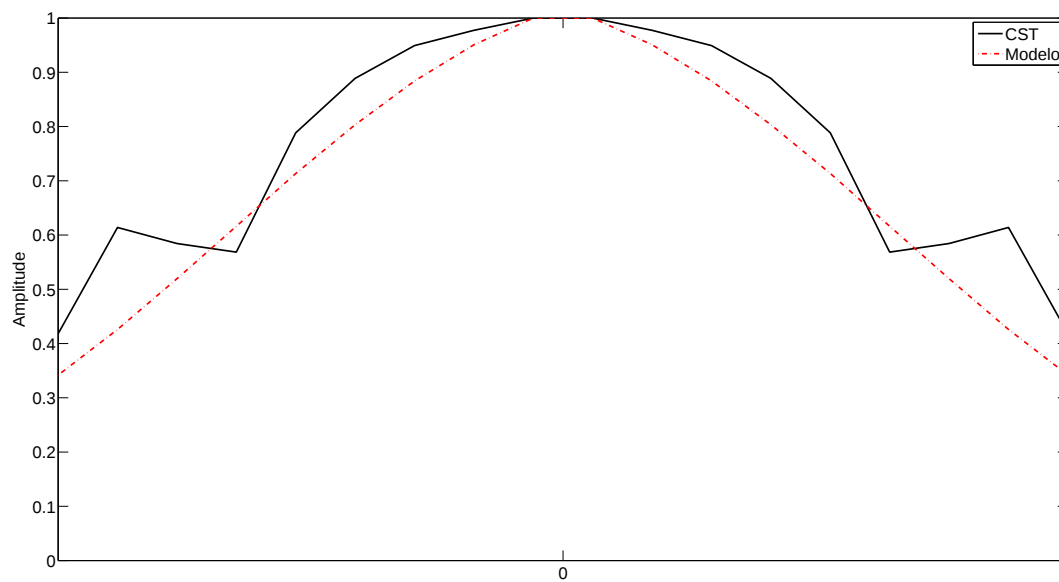


Figura 5.26: Campo na Abertura - Caso B (eixo y).

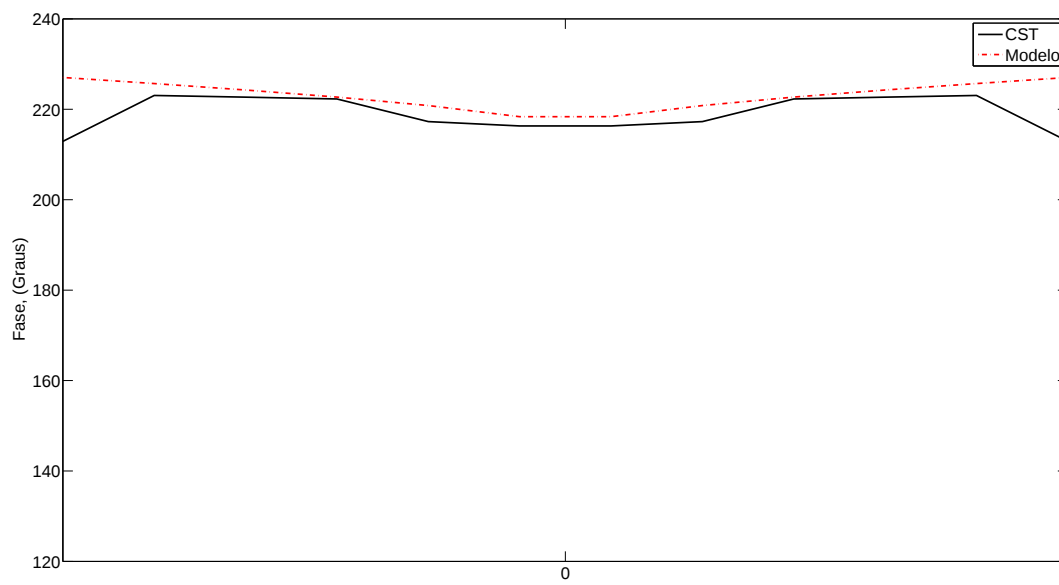


Figura 5.27: Fase na Abertura - Caso B (eixo x).

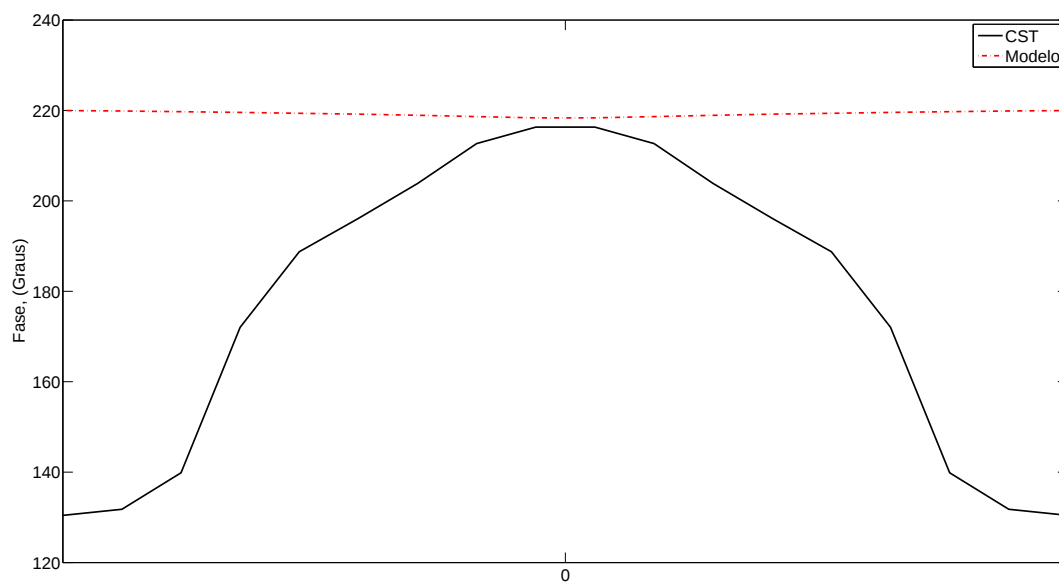


Figura 5.28: Fase na Abertura - Caso B (eixo y).

o plano  $H$  os valores do diagrama do conjunto corneta piramidal com lente estão acima dos valores do alimentador na região de transbordamento, acima de  $13,7^\circ$ . O valor obtido para o nível de lóbulo lateral de aproximadamente  $-17$  dB é função da distribuição de amplitude de campo elétrico na abertura, que neste caso não é nem cossenoidal,  $-23$  dB de nível de lóbulo lateral, e nem uniforme  $-13,6$  dB de nível de lóbulo lateral, os resultados obtidos são coerentes. O lóbulo principal apresentou um ângulo de meia potência de  $6^\circ$  neste plano.

A energia refletida em ambas as superfícies da lente influenciam na perda de retorno da antena, verificada na porta de excitação do guia alimentador. A parcela refletida pela parte frontal da lente retornará diretamente para a abertura da corneta piramidal [12], contribuindo significativamente no desempenho deste parâmetro. Para a parcela refletida na superfície posterior, abertura da lente metálica, os efeitos sobre a perda de retorno podem ser desconsiderados. Como anteriormente discutido no Capítulo 3, a amplitude da parcela da onda incidente que é refletida na superfície da lente metálica tem valores reduzidos, sendo alcançados elevados níveis de transmissão. A figura 5.31 apresenta o comportamento da perda de retorno para o caso do alimentador observado isoladamente em comparação com o conjunto alimentador com lente, observados numa banda de 10%. O alimentador apresentou uma perda de retorno de  $-30$  dB ao longo da banda analisada, com  $-33$  dB na frequência de operação, consoante com o comportamento esperado de uma corneta projetada para ganho ótimo. O efeito do acoplamento da lente metálica na abertura da corneta piramidal também pode ser percebido na Figura 5.31, onde o desempenho do parâmetro perda de retorno apresentou ressonância na frequência de operação, em  $-39$  dB, ficando seus valores em  $-25$  dB para uma banda de 5% da frequência de operação e  $-20$  dB para o restante da faixa sob análise.

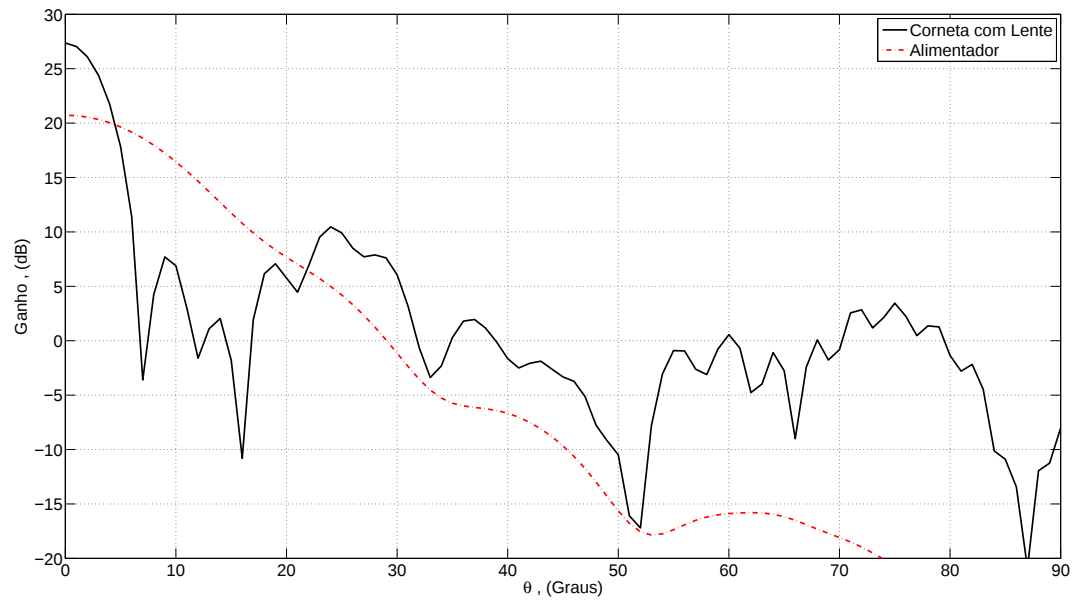


Figura 5.29: Diagrama de Radiação Corneta com Lente Não Uniforme - Plano H.

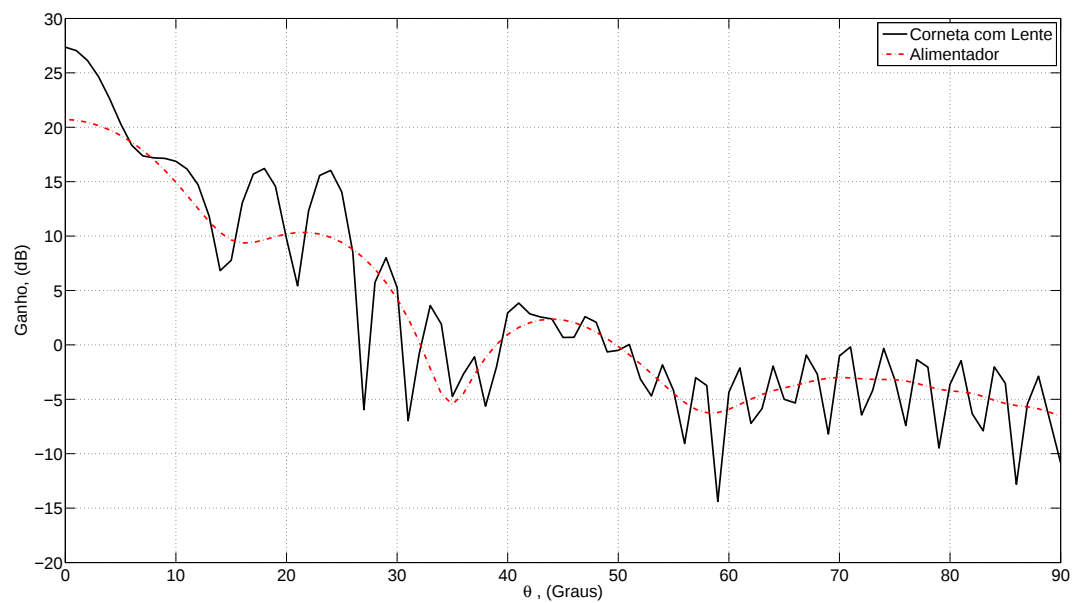


Figura 5.30: Diagrama de Radiação Corneta com Lente Não Uniforme - Plano E.

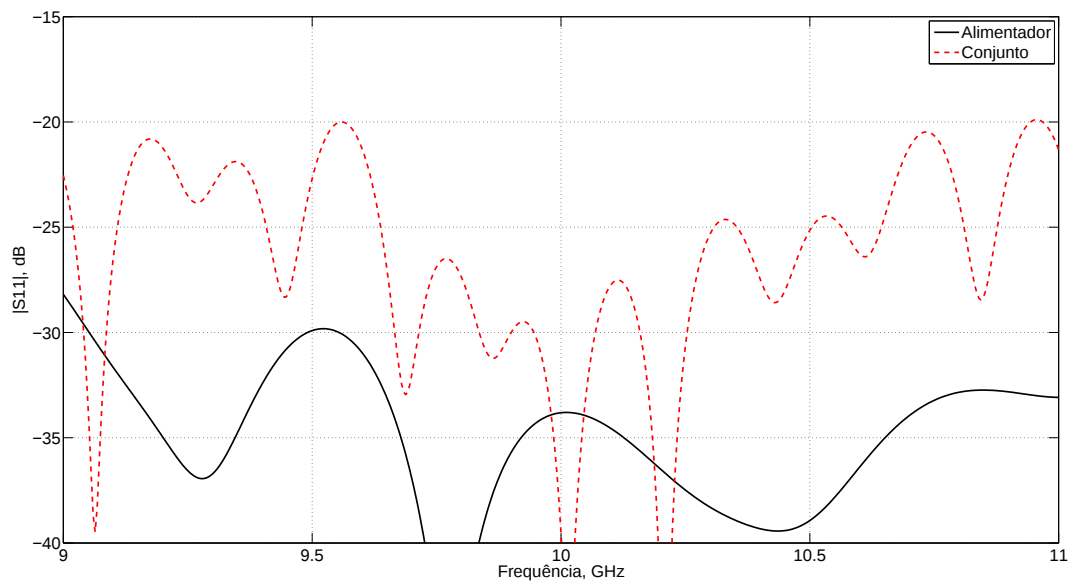


Figura 5.31: Perda de Retorno - Corneta com Lente Não Uniforme.